La HD numérique et le 24p

La CST a récemment organisé une conférence sur la haute définition à laquelle ont participé quatre intervenants dont nous reprenons en substance les principaux propos. Le premier, Bernard Tichit, de Thomson Broadcast System, a fait le point sur la TVHD actuelle, y compris le 24p. Peter Wilson de Snell & Wilcox a, lui, présenté les avantages et les inconvénients du 24p, tandis que son collègue François Abbe rappelait que les hauts débits de la HD imposent la compression, dont on peut limiter les détériorations sur l'image en transmettant les paramètres de codage. Enfin, Dominique De Paepe, de la société Barco, a exposé les principes de la calibration des écrans cathodiques.

La caméra HD Philips LDK6000

Ce sont les constructeurs japonais de matériel vidéo qui, au début des années quatre-vingt ont proposé un standard de TVHD, a rappelé Bernard Tichit. Ils étaient soutenus par la télévision nationale, la NHK, qui dispose d'un puissant centre de recherche. L'image dans le format NHK comportait un total de 1 125 lignes, dont 1 035 actives. La cadence image était de 30 par seconde, avec un balayage entrelacé (fréquence trame de 60 Hz). Le signal était alors analogique. Le format d'image était le 5/3 puis le 16/9e, plus large et plus agréable que le 4/3. Les Américains (dont l'industrie électronique était à ce moment-là mal en point) ont adopté ce standard. Les Européens ont émis une contre-proposition à 25 i/s, chaque image comportait 1 250 lignes (2 x 625) dont 1 150 actives (fréquence trame 50 Hz). L'Europe a longtemps soutenu le standard à 1 250 lignes pour des raisons politiques mais aussi pour éviter des conversions de format coûteuses, à l'époque pas toujours exemptes de défauts visibles. Ces formats sont restés expérimentaux, tout en bénéficiant d'une diffusion régulière au Japon, et d'une phase expérimentale en Europe (en particulier, dans le cadre du programme Euréka). L'évolution est venue de la numérisation de la télévision et de la convergence avec l'informatique. L'image informatique se traite en effet beaucoup plus simplement lorsqu'elle est constituée de pixels carrés et que le balayage est progressif (l'image est décrite en une seule fois, elle ne se constitue pas de deux trames). Dans le courant des années quatre-vingt-dix, les Américains ont élaboré leurs futures normes de télévision numérique et HD (les travaux de la " Grand Alliance " ont débuté en 1993). Ils ont alors imposé aux Japonais le pixel carré. Le format NHK comportait déjà 1 920 pixels par ligne. Il a suffi d'augmenter le nombre de lignes actives à 1 080, malgré les réticences des ingénieurs japonais, pour obtenir des pixels carrés (1 920/16 x 9 = 1 080). Le format européen à 1 250 lignes aurait nécessité 2 048 pixels par ligne pour obtenir des pixels carrés, ce qui était trop élevé. Les constructeurs européens se sont donc ralliés au 1 920 x 1 080. Nous avons ainsi abouti au CIF (Common Image Format), format d'image commun aux mondes 50 et 60 hertz.

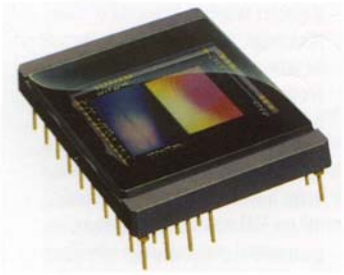
Même format, débit commun ?

A ce stade, il restait encore à se mettre d'accord sur la fréquence d'échantillonnage et le nombre total de lignes pour aboutir à un débit numérique commun (CDR, Common Data Rate). L'Europe avait choisi logiquement 72

MHz, une valeur quatre fois supérieure au débit de la vidéo numérique standard, plus un facteur multiplicateur pour l'élargissement de l'image au 16/9 (13,5 MHz x 4 x 4/3). Les Japonais optèrent pour un chiffre un peu supérieur, de 74,25 MHz (13,5 x 4 x 1,375), soit un coefficient multiplicateur de 5,5. Il était raisonnable d'adopter la même fréquence d'échantillonnage, pour permettre à chacun de fabriquer des matériels (magnétoscopes, interfaces numériques…) compatibles, quelle que soit la fréquence image. Ce qui fut fait : l'interface HD-SDI supporte donc le débit de 1,485 Gbits/s. Les fabricants japonais de magnétoscopes se sont montrés persuasifs ; ce sont eux qui fabriquent pour l'Europe. Il est, bien entendu, moins coûteux de concevoir des magnétoscopes pour les deux marchés (50 et 60 Hz) et l'Europe est dépourvue d'une industrie des magnétoscopes, exception faite de Philips avec le VooDoo. Le débit de l'interface HD-SDI semble énorme, mais 270 Mb/s paraissaient déjà inaccessibles il y a dix ans. L'interface est de plus dimensionnée pour l'avenir. Elle est également prévue pour la quantification en dix bits, ce que n'autorisent pas les magnétoscopes HD actuels (seul le D6 VooDoo de Philips enregistre la luminance en 10 bits, et seulement en 8 bits pour la chrominance). La longueur maximale est de 100 mètres sur câble coaxial, mais peut être étendue en utilisant la fibre optique qui commence discrètement à entrer dans les habitudes des utilisateurs de vidéo. Il restait, pour l'Europe, à définir le nombre total de lignes : 1 125 ou 1 250 ? Il fut difficile de convaincre certains de choisir le 1 125, d'origine NHK. Mais en numérique, seul compte le nombre de lignes actives, le nombre total de lignes n'a pas grand sens. L'Europe a finalement accepté le 1 125 lignes avec le CIF et le CDR pour la TVHD. La SMPTE 274 M a été adoptée en 1995 comme norme mondiale.

Entrelacé ou progressif ?

Parallèlement, une autre bataille se déroulait quant au choix du balayage : entrelacé ou progressif. Depuis longtemps, les ingénieurs dans les laboratoires disaient qu'il fallait passer à l'image progressive, se joignant ainsi au monde de l'informatique. Mais le monde de la télévision est attaché à l'entrelacé. Dans les normes américaines ATSC, le 720p présente des atouts par rapport au 1 080i. En télévision, 720 lignes en progressif donnent une définition verticale supérieure à 1 080 entrelacées. Le 720p comporte 1 280 points, donc moins que les 1 920 du 1 080i. Mais ce chiffre est déjà bien suffisant pour la diffusion, car les 1 920 ne parviendront pas au téléspectateur avant longtemps. Le meilleur format actuel de camescope HD, le HDCam, n'enregistre que 1 440 points par ligne et aucun tube cathodique de télévision grand format, surtout en grand public, ne restitue les 1 920 points.

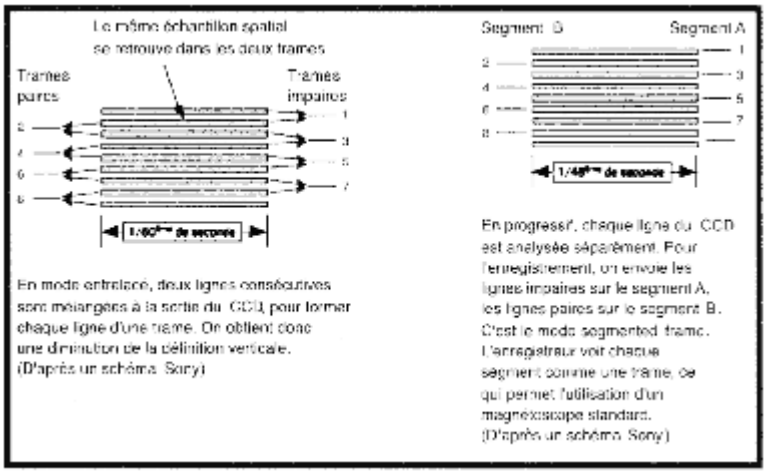


Le capteur CCD HD Philips, neuf millions de photosites à transfert de trame (FT)

Aux États-Unis, la compétition entre le 720p et le 1 080i, a divisé les broadcasters en deux camps : les tenants de la télévision traditionnelle rejettent le progressif, tandis que ceux qui se sont rapprochés des informaticiens prônent son utilisation. Le 720p offre l'avantage de fonctionner à la même fréquence de liaison série que le 1 080i, si bien que de nombreux équipements, mélangeurs, grilles, sont commutables et compatibles. Philips a présenté au NAB deux prototypes de caméras, l'une en 720p, l'autre en 1080i, utilisant le même capteur à 9 millions de photosites. En les groupant par quatre, selon la technologie DPM des capteurs FT de Philips, on obtient 1 080 lignes, et par six 720 lignes. Si bien que les télévisions américaines ont droit à l'erreur : on fait passer, grâce à un kit, sa caméra sur l'autre standard si l'on a fait le mauvais choix. Sur la base du HD-CIF, énormément de choses sont prévues dans la norme. Au sommet, on trouve du 1 080 à 60 Hz progressif, mais l'énorme débit de 3 Gbits le réserve à un avenir encore lointain. Certains pensent, bien sûr, que c'est l'ultime format de la HD. Le CIF permet de décliner dans toutes les fréquences images de la télévision (60 Hz, 50 Hz et les variantes US comme le 59,94) mais aussi du cinéma (24 Hz). Avantage certain de l'image électronique en 24p : on diffuse un film en télévision à 25 Hz ou à 30 Hz (grâce au 3/2 pull down) au moindre coût et sans conversion dégradante pour l'image. La grande astuce est le segmented frame : il s'agit d'enregistrer et de transmettre une image progressive sur les équipements conçus pour l'entrelacé, donc sans coût de développement supplémentaire. " Au passage, fait remarquer Bernard Tichit, c'est ce qu'on avait fait avec la caméra progressive Proscan chez Thomson il y a cinq ans ".

Le cinéma numérique selon Sony

Bernard Tichit a ensuite commenté une conférence tenue par Larry Thorpe (Sony) à la SMPTE en novembre 1999. Dans son introduction, celui-ci expose que notre vieux monde entrelacé 50/60 est sur le point d'être remplacé par un monde mélangé de progressif et d'entrelacé (le segmented frame). Il faut bien séparer ce qui est fait dans la production (ce que fait la caméra) de ce qui est enregistré ou transporté (par exemple, dans la liaison SDI). Ce sont deux choses bien distinctes. A la source, les images HD sont, soit progressives, soit entrelacées. L'image progressive est constituée d'une séquence de 1 080 lignes alors que les images entrelacées sont constituées de deux trames de 540 lignes. Ce n'est ni la même fréquence, ni la même façon de construire. L'astuce est de reformater la vidéo progressive à 24 hertz 1 080 lignes, en deux trames de 540 lignes, avec un retard inévitable mais sans conséquence. Ceci permet de rendre la vidéo progressive semblable en structure temporelle à un signal entrelacé. De même pour la visualisation, un moniteur entrelacé fonctionne alors à 48 Hz. Voyons ce qui se passe au niveau de la caméra. Dans le cas d'un capteur 1 080 lignes, on se contente de mettre 540 lignes sur le segment A et 540 sur le segment B. Mais l'image comporte bien 1 080 lignes prises au même instant et n'ayant subi aucun filtrage. Alors qu'en entrelacé, chaque trame est indépendante : la trame 2 a été captée 1/50e de s après la trame 1. Sur le CCD de 1 080 lignes, il faut effectuer un filtrage vertical pour éviter le grand défaut de l'entrelacé, le flicker. Ce qui réduit la définition verticale. La simplicité permet de concevoir des caméras commutables 1 080/60i ou 1 080/24p, utilisant le même capteur.


Le même échantillon spatial se retrouve dans les deux trames
Trames paires
Trames impaires
En mode entrelacé, deux lignes consécutives sont mélangées à la sortie du CCD pour former chaque ligne d'une trame. On obtient donc une diminution de la définition verticale.
(D'après un schéma Sony)
Segment B
Segment A
En progressif, chaque ligne du CCD est analysée séparément. Pour l'enregistrement, on envoie les lignes impaires sur le segment A, les lignes paires sur le segment B. C'est le mode segmented frame. L'enregistreur voit chaque segment comme une trame, ce qui permet l'utilisation d'un magnétoscope standard.
(D'après un schéma Sony)

En conclusion, Larry Thorpe note que le balayage progressif (longuement repoussé par les hommes de télévision) arrive plus vite que prévu pour l'application cinéma en 24 hertz. Le 24p apporte la convergence entre le film et la télévision, parce que les conversions se font sans aucune perte. Le segmented frame assure la compatibilité et permet aussi la visualisation en 48 hertz sur un téléviseur quasi standard, même si ce n'est pas parfait. Et le format HDCam, qui n'est qu'une variante 1 080/60i du Digital Betacam 525/60i, apporte une solution bon marché en proposant un magnétoscope de studio et (surtout) un camescope léger et compact. Les utilisateurs du 24p profitent des développements faits sur le 60i pour la TVHD américaine. Dans une précédente conférence faite en 1998 à la SMPTE, Larry Thorpe avait exposé la stratégie de Sony dans le domaine du cinéma numérique. Conférencier habile, il a décrit le monde de technologie qui est le nôtre : il y a les standards, les créatifs (ceux qui font les images) les artistes et la technologie. Théoriquement, les ingénieurs définissent d'abord les standards : les gens de télévision sont des scientifiques. Ensuite, les personnes qui sont dans la technologie essaient de faire les matériels qui correspondent aux standards, et puis les créatifs s'en servent. Par ailleurs, le film a effectivement une meilleure définition et une réserve de dynamique supérieure à la vidéo. L'idée de Larry Thorpe est de dire : " Regardons réellement ce que la caméra enregistre ". Théoriquement, l'enregistrement dans la norme SMPTE 274 M s'effectue jusqu'à 30 MHz de bande passante, c'est-à-dire 1 920 pixels par ligne qui apportent des éléments d'information. C'est le spectre fréquentiel quand on est en grand-angle, situation où l'image comporte un maximum de détails fins. Cependant, explique Larry Thorpe, dans la pratique, on n'obtient jamais plus de 1 400 pixels par ligne, car l'objectif de la caméra, puis le télécinéma, ne permettent pas de transmettre plus de 25 MHz de MTF (Modulation Transfer Function). Ainsi donc, le HDCam qui enregistre en 3.1.1, donc une bande passante de 24 MHz en luminance, est parfaitement suffisant pour produire un résultat comparable au film 35 mm numérisé à travers le meilleur télécinéma. " Quelque 1440 pixels en luminance c'est probablement suffisant, commente Bernard Tichit, 480 pixels en chrominance, c'est peu et cela risque d'être insuffisant dans le cas d'effets spéciaux sophistiqués ". La conclusion de Larry Thorpe est la suivante : le 24p est immédiatement commercialisable car il se moule dans le 60i de la télévision HD. Mais, c'est le 1 080 à 60 en progressif qui sera la vraie image du futur.

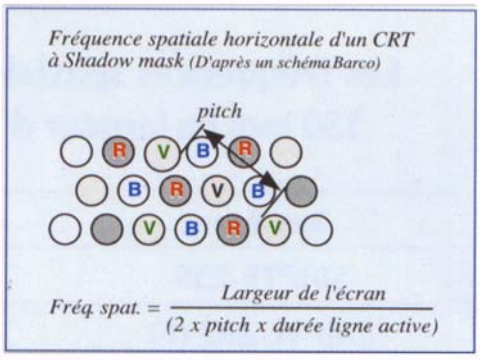
Bernard Tichit donne des dates (2002 ou 2003), mais cela semble un peu optimiste. " Il y a déjà assez de choses à faire en 24p et en 60i ", observe-t-il.

Il faut plus d'images, pas moins !

John Watkinson est un technologue anglais qui a publié un article fameux intitulé : " Pourquoi avons-nous besoin de plus d'images par seconde et pas moins ? ". Il faut d'abord rappeler que la télévision actuelle compte non pas 25 images par seconde, chacune comportant 625 lignes, mais plutôt 50 images de 300 lignes. La définition temporelle est privilégiée par rapport à la définition spatiale verticale. C'est indispensable pour les mouvements, en particulier pour le sport. Pour déterminer la fréquence image permettant une reproduction réaliste des mouvements, que ce soit pour le film, la vidéo ou un écran d'ordinateur, il n'y a qu'un seul critère, énonce John Watkinson. Le niveau d'artefact, de défaut visible, doit se situer en dessous de la visibilité de notre système visuel. C'est vraiment fondamental.

Des archives vidéo en tous formats grâce au HD2100, le Downconverter de Snell & Wilcox

En cinéma, le 24 images a été standardisé avec le cinéma sonore. En télévision, le choix s'est fait un peu avant guerre pour les Américains et un peu après pour l'Europe. Dans tous ces systèmes, des progrès très importants ont été réalisés en résolution statique, linéarité et colorimétrie. Mais il semble que l'on ait complètement oublié la restitution du mouvement. Or, le système visuel humain est ainsi fait que si un élément bouge dans une image, l'œil va suivre ce mouvement, et ne percevoir le reste de l'image que dans un second temps. Prenons l'exemple d'un objet qui traverse l'écran de gauche à droite. L'œil va le suivre. En conséquence, le cadrage de l'écran n'est pas constant. John Watkinson définit un axe optique de perception qui se déplace avec l'objet. L'œil suit l'objet en mouvement, ce qui implique que le reste de l'image est présenté à la rétine avec des positions différentes à chaque image. C'est pourquoi, explique John Watkinson, le critère pour choisir une fréquence image suffisante est un système qui doit permettre l'affichage de ce fond sans qu'il soit gênant pour le spectateur et non pas le flicker. C'est la fréquence critique du fond qui est la vraie cause d'un visionnement désagréable.


Fréquence spatiale horizontale d'un CRT
à Shadow mask (D'après un schéma Barco)
pitch
R V B R
B R V B
V B R V
Fréq. spat. = Largeur de l'écran / (2 x pitch x durée ligne active)

Comme l'œil a une réponse temporelle qui dépend de la brillance, le 48 hertz est tout à fait supportable en cinéma, mais 50 hertz en télévision c'est un peu juste. Quand on montre aux Américains des images faites en Europe, ils se plaignent du flicker insupportable. En projetant l'image film à 48 Hz, on répète deux fois chaque image. Comme l'œil suit involontairement le mouvement, le résultat est que l'œil perçoit une trépidation du fond (judder, en anglais). Ceci, dit-il, est une composante principale du fameux film look, qui est toujours difficile à définir. C'est un défaut irritant, mais qui est là depuis si longtemps, que certaines personnes pensent qu'il est une caractéristique fondamentale du film look. Pour réduire le judder, on veille à ne réaliser que des panoramiques lents et l'on tourne avec une faible profondeur de champ de façon à ce que le sujet en mouvement soit net mais se déplace sur un fond flou.

Le mélangeur HD1024 de Snell & Wilcox avec sa barre et demie de mix effect et son DVE en option

Les techniciens du cinéma ont intégré ces procédés par expérience, même si, au début ils n'en connaissaient pas la théorie. Des études faites au SMPTE ont démontré que, malgré les améliorations techniques de cent ans de cinéma, l'œil suit toujours le phénomène intermédiaire de l'image répétée deux fois. Si le mérite du 24p est le transfert en numérique sans dégradation supplémentaire, la conclusion est sévère : la fréquence de 24 hertz est inadéquate pour une présentation de haute qualité. La solution, c'est de monter en fréquence image. Le Showscan (film défilant à 60 images par seconde) l'a démontré : le résultat est magnifique, mais extrêmement coûteux. Avec le cinéma électronique, le 60 Hz sera peut-être envisageable à l'avenir. John Watkinson conclut par une boutade : choisir un format numérique à 24 hertz, c'est comme si l'on avait conservé la qualité du son 78 tours sur le CD-Audio.

Interface numérique série Haute Définition
HD-SDI *(Serial Digital Interface)*, norme SMPTE 274 M

Fréquence d'échantillonnage de la luminance :	Fe = 74,25 MHz
Fréquence d'échantillonnage de la chrominance :	Fe = 37,125 MHz pour Cb Fe = 37,125 MHz pour Cr
Quantification de chaque composante :	10 bits
Débit total :	(74,25 + 37,125 + 37,125) x 10 = **1,485 gigabits/seconde**

24p, héritage du passé ou réelle innovation ?

Les performances seront très différentes entre une caméra 1 080i équipée d'un zoom de télévision standard et une caméra 24p munie d'une optique type film. Peter Wilson, de Snell & Wilcox, a énuméré les avantages et les inconvénients du 24p. Au tournage, les longueurs focales liées à la faible taille du capteur CCD ne favorisent pas l'obtention d'une profondeur de champ réduite, d'autant que le séparateur optique RVB limite l'ouverture maximale à 1,6. Le viseur électronique ne permet pas le cadrage du hors champ comme un viseur optique de caméra film. De plus, il montre l'effet stroboscopique du 24 Hz. Les solutions sont l'utilisation d'optiques à grande ouverture, accompagnées de filtres de densité neutre en cas de forte intensité lumineuse et la mise au point de caméra avec viseur optique. Pour les moniteurs, l'affichage à 48 Hz en segmented frame réduit l'effet stroboscopique (judder), et à 72 Hz le flicker. Concernant la postproduction, Peter Wilson a noté que les équipements HD 60 Hz sont souvent commutables en 24p, grâce au CIF et au CDR, et que les convertisseurs de formats permettent tous les transferts avec un bon niveau de qualité. Ces équipements sont disponibles grâce à la forte demande aux États-Unis et au Japon. François Abbe, de Snell & Wilcox, a rappelé que les forts débits de la HD et du 24P rendent nécessaires la réduction de débit, en particulier en diffusion, mais pas seulement. Le Mpeg-2 est généralement utilisé, car il est standardisé et permet de conserver un bon niveau de qualité. La technologie Mole permet de transmettre dans le signal image les paramètres de la première compression jusqu'à la dernière. En cas de compressions en cascade, la dégradation de qualité est minimale. Un décodeur Mpeg-2 compatible Mole inclut ces paramètres dans le signal vidéo décompressé. Les décisions de codage (comme la structure de blocs) sont ainsi transmises au codeur chargé de recompresser le signal. On retrouve des technologies similaires chez Sony ou Thomson avec le Helper Channel.

Les fréquences spatiales selon différentes normes pour un moniteur de 350 mm de largeur d'écran avec un pitch de 0,26 mm (Tableau Barco)

Système	Description	Fréquence spatiale
SMPTE-259	720 x 576/50/2 : 1	12,6 MHz
SMPTE-292 (F)	1 920 x 1 080/50/2 : 1	26,03 MHz
SMPTE-293	720 x 483/59,94/1 : 1	25,24 MHz
SMPTE-296	1 280 x 720/60/1 : 1	39,04 MHz

Les moniteurs HD

On peut considérer que la fidélité d'un moniteur dépend des points suivants, a ensuite énoncé Dominique de Paepe, de Barco : distorsions dans les circuits, résolution, calibration colorimétrique et stabilité à long terme. Les distorsions sont de type linéaire, liées à la réponse en fréquence et au délai de groupe, ou de type non-linéaire. Dans ce deuxième cas, elles peuvent affecter la luminance ou la chrominance, et agir en phase, en amplitude ou en intermodulation entre la luminance et les signaux de chrominance. En dehors de la réponse en fréquence des circuits, la résolution d'un moniteur dépend de la résolution du tube cathodique et de sa dimension, du système de balayage et de la dimension du faisceau électronique, le spot. La fréquence spatiale horizontale fixe la bande passante nécessaire pour les circuits RVB. Si elle est trop basse, la résolution sera réduite. Mais si elle est trop élevée, on verra apparaître des effets de moiré sur l'écran. La bande passante dépend de la norme du signal vidéo ; elle augmente avec le nombre de lignes par image et la fréquence image. La finesse d'un tube cathodique se définit, entre autres, par le pitch, la distance entre deux pastilles de même couleur sur l'écran. Le spot électronique doit avoir un diamètre égal au minimum à deux fois la valeur du pitch. Si le spot a un diamètre plus élevé, la résolution sera réduite. Mais, là encore, s'il est trop réduit, le moiré apparaîtra. L'ensemble des composants d'un moniteur fidèle doit être de qualité élevée et homogène : circuits de traitement du signal (entrées, décodeurs, amplis RVB), circuits de balayage, de focus et de convergence, tube cathodique lui-même. Enfin, la calibration colorimétrique doit être précise mais aussi conservée dans le temps grâce à un système de calibration automatique.

Rédaction : ***Sophie Bosquillon & Jacques Pigeon***

Les acteurs de la haute définition

Cette journée de la CST axée sur la haute définition permit également à différents constructeurs et distributeurs de présenter une gamme de produits complémentaires à la déjà célèbre caméra HDCAM de Sony, absente ce jour-là.

Snell & Wilcox proposait ainsi deux convertisseurs. : le downconverter HD 2200 qui convertit l'image d'un master HD en formats standards 525 ou 625 lignes et le upconverter HD 5100 qui effectue l'opération inverse.

Un moniteur HD haute résolution, 16/9ème, à entrées multistandard

En postproduction, le mélangeur HD 1024 comporte jusqu'à 24 entrées (avec signal de key associé) sur 1, 5 M/E. Il est compatible avec tous les formats HD 1080 (24p, 25p, 60i) et intègre quatre librairies d'images. Un écran tactile laisse le choix à l'opérateur d'utiliser le clavier ou l'écran. Il est possible de se préparer une configuration 24p, en associant des machines ou le télécinéma, la machine s'auto-configurant. Les correcteurs de couleur sont assignables à volonté, soit par barre, soit en entrée. L'on peut également faire varier les gammas. Rappelons que le gamma est différent si l'on travaille en HD ou en SD, de même qu'il diffère si l'on œuvre sur des moniteurs informatiques ou vidéo, ou encore sur des vidéoprojecteurs DLP ou sur le ILA (cf. la présentation au Gaumont Aquaboulevard de *Toy Story 2*).

Le mélangeur peut gérer les time-codes de chacun des appareils entrants avec la time-line, ce qui apporte l'avantage de pouvoir rappeler le time-code de quelque outil que ce soit et travailler la correction de couleur de chaque plan ou de gérer les effets en temps réel, au fur et à mesure que le time-code du plan arrive dans le mélangeur. Ce dernier existe aussi en version douze ou dix entrées (celui-ci n'ayant qu'une barre). Les mélangeurs utilisent tous le même pupitre.

Lui était associé un générateur de caractères FXDEKO HD de Pinnacle distribué par AV2P, et un DVE HD DAVE alone destiné, dans ce cas, à la diffusion mais qui, sur l'installation présente, reprenait le canal de préparation (la sortie *preview*) du mélangeur pour en faire une incrustation en arrière-plan. La sortie HD était enregistrée sur un serveur Digital Vision BitPack-Cine, présenté par SAV. La sortie du codeur était décodée pour une diffusion par un vidéoprojecteur JVC DLA-G15.

Participait aussi à cette journée, Barco qui présentait ses moniteurs multistandards HDM (*High Definition Monitor*) 5049 en configuration 24p.

La journée a été organisée avec le concours supplémentaire des sociétés Angénieux, Philips et Sony, avec un magnétoscope de studio HDW-F500 comme source d'images.

©2000, Commission Supérieure Technique de l'Image et du Son